

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРИВОДА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ

к.т.н. <sup>1</sup>Кудин В.В., к.т.н. <sup>1</sup>Авсиевич А.М., <sup>2</sup>Авдонин А.В., к.т.н. <sup>1</sup>Кудин М.В.

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск  
<sup>2</sup>ОДО Белприборхим, Минский р-н, д. Боровляны

Средства малой механизации с автономным электроприводом используются в производственных целях в помещениях теплиц, цехах заводов, логистических центрах и т.д. Вибрационная активность таких установок нормируется санитарными нормами и соответствующими ГОСТами [1]. Основными источниками вибраций электрической тележки (ЭЛТ) являются мотор-редуктор и цепная передача.

Режимы работы тележки: 1-й режим – частота вращения вала электродвигателя 16,25 Гц (975 об/мин); 2-й режим – частота вращения вала электродвигателя 30,75 Гц (1845 об/мин). Направления измерений параметров вибрации: вертикальное и горизонтальное. Измеряемые параметры вибрации: 1) общий уровень СКЗ (среднеквадратическое значение) виброскорости; 2) спектр СКЗ виброскорости; 3) спектр огибающей высокочастотного сигнала [2]. Анализ измеренных параметров и спектров вибрации проводился с целью выявления основных источников вибрации в редукторе, а также для оценки состояния элементов редуктора.

Расчет частот возможных дефектов подшипников качения (рис. 1) проводился по формулам и рекомендациям [3]

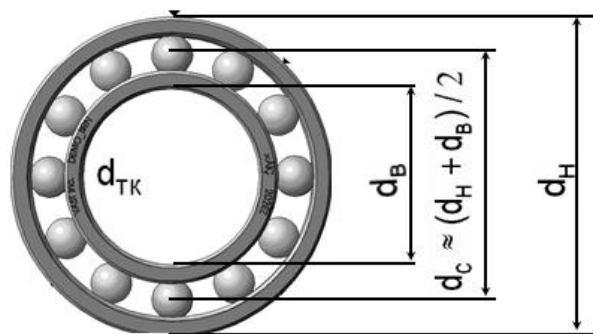


Рис. 1. Конструктивные параметры подшипника

Частота вращения сепаратора

$$f_c = \frac{1}{2} \cdot f_{вр} \left(1 - \frac{r_{TK}}{r_c} \cos \alpha\right), \quad (1)$$

частота вращения наружного кольца

$$f_H = f_c \cdot Z = \frac{1}{2} \cdot f_{вр} \cdot \left(1 - \frac{r_{TK}}{r_c} \cos \alpha\right) \cdot Z \quad (2)$$

частота вращения тел качения вокруг своей оси

$$f_{TK} = \frac{1}{2} \cdot f_{вр} \cdot \frac{r_c}{r_{TK}} \left(1 - \frac{r_{TK}^2}{r_c^2} \cos^2 \alpha\right), \quad (3)$$

частота вращения внутреннего кольца

$$f_B = (f_{вр} - f_c) \cdot Z = \frac{1}{2} \cdot f_{вр} \cdot \left(1 + \frac{r_{TK}}{r_c} \cos \alpha\right) \cdot Z, \quad (4)$$

где  $f_{вр}$  – частота вращения,

$Z$  – число тел качения,

$\alpha$  – контактный угол.

При анализе спектров вибрационного сигнала использовались следующие значе-

ния частот дефектов подшипников качения редуктора, рассчитанные для двух режимов работ (таблицы 1 и 2).

*Табл. 1. Расчетные значения частот вращения элементов на режиме 1 (16,25 Гц)*

Дефекты	Подшипник привода 180202	Подшипник сателлита 2505	Подшипник ведомого вала 209	Подшипник ведомого вала 208
Частота вращения	16,25 Гц	14,78 Гц	1,47 Гц	1,47 Гц
Перекатывание тел качения по наружному кольцу	49,53	79,85	5,323	5,217
Перекатывание тел качения по внутреннему кольцу	80,47	112,29	7,9	8,015
Вращение тел качения	32,205	42,524	3,6	3,317
Вращения сепаратора	6,191	6,142	0,59	0,579
Изменение формы тел качения	30,659	28,717	2,828	2,808

*Табл. 2. Расчетные значения частот вращения элементов на режиме 2 (30,75 Гц)*

Дефекты	Подшипник привода 180202	Подшипник сателлита 2505	Подшипник ведомого вала 209	Подшипник ведомого вала 208
Частота вращения	30,75 Гц	27,96 Гц	2,79 Гц	2,79 Гц
Перекатывание тел качения по наружному кольцу	93,726	151,057	10,102	9,898
Перекатывание тел качения по внутреннему кольцу	152,274	212,423	15,008	15,212
Вращение тел качения	60,942	80,444	6,867	6,295
Вращения сепаратора	11,716	11,62	1,122	1,1
Изменение формы тел качения	58,016	54,326	5,367	5,33

**Анализ общего вибрационного состояния редуктора в двух режимах работы.** Средние значения по результатам измерений общего СКЗ виброскорости представлены в таблице 3.

*Табл. 3. Средние значения СКЗ виброскорости по результатам 8-ми измерений*

Режим работы	16,25 Гц	30,75 Гц
Значение общего уровня СКЗ виброскорости в вертикальном направлении	0,36	2,46
Значение общего уровня СКЗ виброскорости в горизонтальном направлении	0,42	0,64

При переходе от скорости вращения вала электродвигателя 16,25 Гц на 30,75 Гц значительно вырос (в 6,8 раза) общий уровень вибрации в вертикальном направлении.

В горизонтальном направлении рост вибрации менее значителен (1,5 раза). Значительные отличия в степени роста вибрации вызваны различием жесткости системы в вертикальном и горизонтальном направлениях.

**Анализ спектров СКЗ виброскорости в двух режимах работы.** Фрагмент спектра СКЗ виброскорости с расшифровкой основных составляющих вибрации представлен на рис. 2.

Как следует из представленного спектра, в режиме работы 16,25 Гц энергия вибрации в вертикальном направлении измерений сосредоточена в полосе частот до 150 Гц, причем, амплитуды всех составляющих вибрации не превышают 0,1 мм/с.

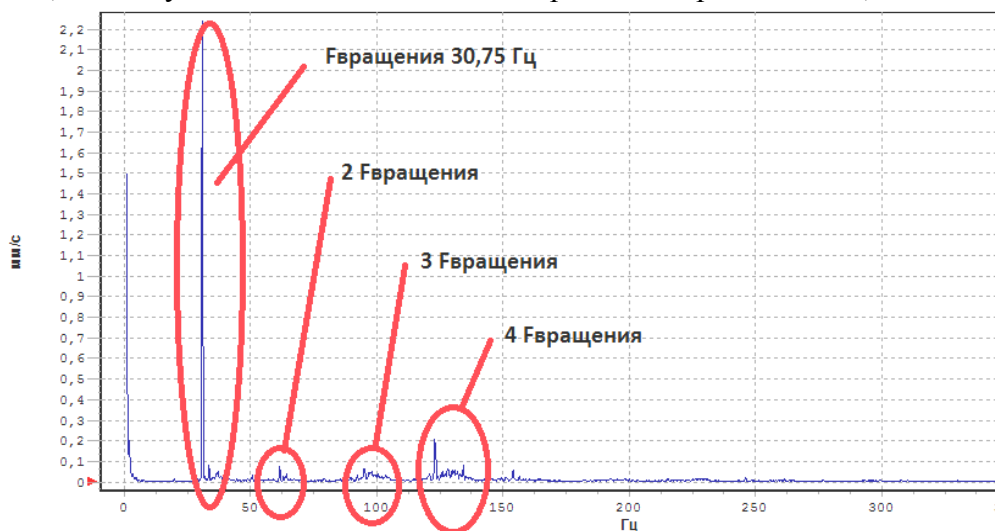


Рис. 2. Фрагмент спектра СКЗ виброскорости с расшифровкой составляющих вибрации

Необходимо провести анализ роста вибрации на частоте вращения вала электродвигателя при различных режимах работы редуктора в диапазоне частот от 15 до 30 Гц с шагом 2-3 Гц, для выявления порогового значения частоты вращения, при которой происходит резкий или скачкообразный рост общего уровня вибрации редуктора.

Также рекомендуется провести такие измерения на отсоединенном электродвигателе с целью выявления собственного дисбаланса вала электродвигателя.

**Анализ спектров огибающей высокочастотной вибрации в режиме работы 30,75 Гц.** Анализ спектра огибающей высокочастотной составляющей случайного сигнала вибрации проводится для выявления признаков дефектов опорных подшипников. В данной конструкции диагностированию на ранней стадии эксплуатации может быть подвергнут только подшипник 180202 вала электродвигателя, имеющий постоянную жесткую связь с корпусом и вращающийся с достаточно высокой скоростью. Подшипники 2505 сателлитов передают колебания на корпус редуктора через зубчатое зацепление, при этом сигнал вибрации существенно гасится и искажается. По этой причине диагностировать можно только достаточно развитые дефекты, создающие сильные сигналы вибрации.

Подшипники 209 и 208 выходного вала редуктора даже при максимальной скорости вращения вала электродвигателя имеют характерные частоты своих дефектов не выше 10-15 Гц. При этом выходной вал вращается с частотой менее 3 Гц, что также значительно затрудняет диагностику зарождающихся дефектов.

Фрагмент спектра огибающей в вертикальном направлении с отмеченными признаками выявленных дефектов подшипника вала электродвигателя (рис. 3).

Исследование вибрационной активности на базе прибора СД-21 и пакета программ для мониторинга и диагностики роторных машин «Dream for Windows» показали, что такой способ является эффективным инструментом получения параметров вибрации средства малой механизации с ЭЛТ.

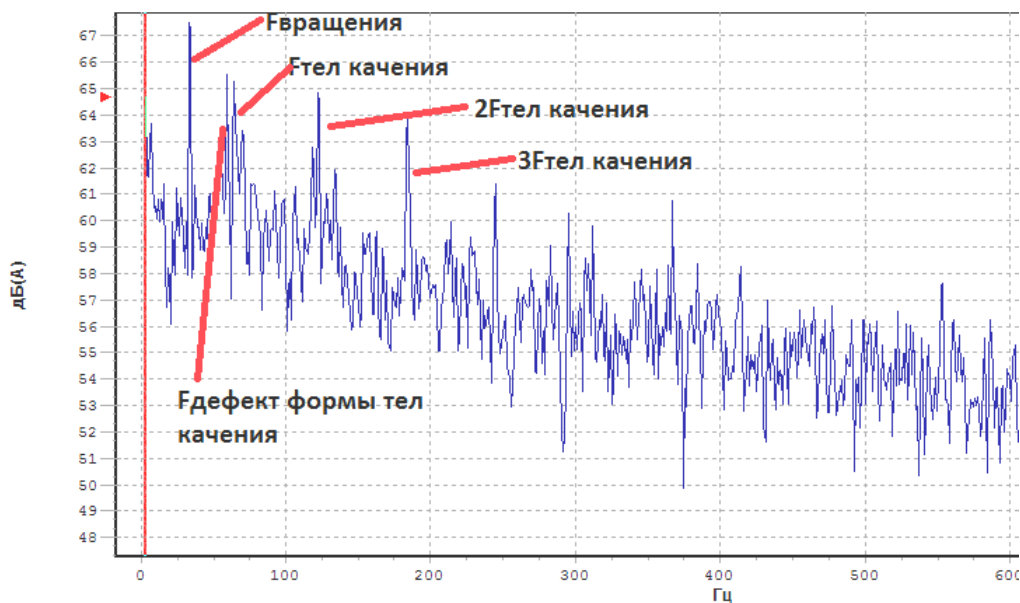


Рис. 3. Фрагмент спектра огибающей в вертикальном направлении с признаками дефектов

Приведенный способ диагностики подшипниковых узлов также эффективен для выявления дефектов подшипников и иных конструктивных недостатков различных машин и оборудования роторного типа и может быть положен в основу более совершенной системы поддержания работоспособности взамен системы планово-предупредительного ремонта.

#### РЕЗЮМЕ

Измерение общего уровня и спектра среднеквадратического значения виброскорости, а также спектра огибающей высокочастотного вибрационного сигнала позволяет определить спектр частот возможных дефектов редуктора и выявить сами дефекты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т.6. Защита от вибраций и удара / под ред. К.В. Фролова, 1981. – 456 с.
2. Виброанализатор СД-21. Руководство по эксплуатации КНТЮ411711.035 РЭ. СПб.: ООО Вибротехника, 2012. – 113 с.
3. Пакет программ для мониторинга и диагностики роторных машин. Инструкция по эксплуатации. Часть 2. СПб.: ООО Вибротехника, 2007. – 156 с.

#### SUMMARY

*The measurement of the overall level and spectrum of the RMS vibration velocity and envelope spectrum of high frequency vibration signal allows to determine the spectrum of frequencies of possible gearbox defects and to identify these defects.*

E-mail: [tmm@bntu.by](mailto:tmm@bntu.by)  
[ausi@tut.by](mailto:ausi@tut.by)  
[vibro@bph.by](mailto:vibro@bph.by)

Поступила в редакцию 13.10.2015